

Waldir P. Ferro | Marcos S. Araújo  
Hélio Wiebeck | Heloísa A. Zen | Giovanni Pioltini

Pequeno  
manual do  
**NÁILON**

Estrutura, propriedades, processamento

**Artliber**  
EDITORIAL

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....</b>	<b>19</b>
2.1 – Polímeros e suas características estruturais .....	20
2.2 – Estrutura química dos polímeros.....	25
2.3 – Polímeros de adição .....	28
2.4 – Polímeros de condensação .....	31
2.5 – Blendas poliméricas.....	34
2.6 – Homopolímeros e copolímeros .....	36
2.7 – Estado cristalino e estado amorfo .....	38
2.8 – Cristalinidade dos polímeros .....	39
2.9 – Transição de fases nos polímeros .....	42
2.10 – Temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), temperatura de fusão cristalina ( $T_m$ ).....	43
2.11 – Nomenclatura.....	44
<b>3. NOÇÕES BÁSICAS DE VISCOSIDADE E REOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
3.1 – Introdução .....	49
3.2 – Terminologias usuais em reologia .....	50
3.3 – Comportamento do escoamento .....	52
3.4 – Propriedades de viscoelasticidade .....	56
3.5 – Medida de viscoelasticidade .....	58

<b>4. OBTENÇÃO DOS MONÔMEROS E POLIMERIZAÇÃO DAS POLIAMIDAS 6 E 66 .....</b>	<b>63</b>
4.1 – Obtenção da $\epsilon$ -caprolactama.....	64
4.2 – Obtenção do ácido adípico e do hexametenodiamina .....	65
4.3 – Mecanismo de polimerização por abertura de anel da poliamida 6.....	66
4.4 – Mecanismo de polimerização (policondensação) da poliamida 66 .....	70
<b>5. PROPRIEDADES ESPECÍFICAS DAS PA6 E PA66 .....</b>	<b>77</b>
5.1 – Relação entre estrutura e propriedades .....	79
5.2 – Propriedades mecânicas da PA6 e PA66 .....	84
5.3 – Propriedades térmicas das poliamidas 6 e 66 .....	87
5.4 – Campo de aplicação das poliamidas.....	88
<b>6. OUTRAS POLIAMIDAS .....</b>	<b>89</b>
6.1 – Poliamida 11 – PA11 .....	89
6.1.1 – Características gerais .....	89
6.2 – Poliamida 610 – PA610 .....	90
6.2.1 – Características gerais .....	91
6.3 – Poliamida 612 – PA612 .....	91
6.3.1 – Características gerais .....	92
6.4 – Poliamida 12 – PA12 .....	93
6.4.1 – Características gerais .....	93
6.5 – Poliamida 46 – PA46 .....	93
6.6 – Poliamida MXD6 – PAMXD6 .....	94
6.6.1 – Características.....	94
6.7 – Poliamida 6-3-T – PA6-3-T (PANDT/INDT) .....	95
6.7.1 – Características.....	95
6.8 – Poliamida 56 – PA56 .....	96
6.8.1 – Características.....	96

<b>7. ADITIVAÇÃO DE POLIAMIDAS.....</b>	<b>101</b>
7.1 – Peso molecular das poliamidas e a arquitetura de peças.....	101
7.2 – Poliamidas reforçadas.....	102
7.3 – Modificadores da processabilidade.....	104
7.3.1 – Lubrificantes externos.....	104
7.3.2 – Lubrificantes internos.....	105
7.3.3 – Agentes desmoldantes.....	106
7.3.4 – Agentes nucleantes.....	107
7.3.5 – Agentes expansores.....	110
7.4 – Antioxidantes, estabilizantes térmicos, anti-UV.....	111
7.4.1 – A degradação de polímeros.....	111
7.4.2 – Fases da degradação.....	112
7.4.2.1 – Manifestações de degradação.....	112
7.4.3 – Tipos de degradação.....	113
7.4.3.1 – Degradação térmica.....	113
7.4.3.2 – Degradação foto oxidativa.....	113
7.4.3.3 – Degradação hidrolítica.....	113
7.4.3.4 – Degradação química.....	113
7.4.3.5 – Degradação mecanoquímica.....	114
7.4.3.6 – Degradação induzida por radiação.....	114
7.4.3.7 – Biodegradação.....	114
7.4.3.8 – Degradação por intemperismo natural.....	115
7.4.3.9 – Degradação induzida por metal.....	115
7.4.4 – Degradação das poliamidas.....	115
7.4.4.1 – Degradação térmica.....	115
7.4.2 – Fotodegradação.....	117
7.4.3 – Estabilizantes UV.....	120

7.4.4 – Influência da interação entre colorantes e polímeros na degradação .....	120
7.5 – Retardantes de chama .....	121
7.5.1 – Halogenados .....	121
7.5.2 – Compostos nitrogenados.....	122
7.5.3 – Fósforo vermelho.....	122
7.5.4 – Hidróxidos.....	122
7.6 – Modificadores de propriedades físico-mecânicas .....	122
7.6.1 – Reforços e cargas .....	122
7.6.2 – Modificadores via blenda com outros polímeros .....	123
7.6.3 – Plastificantes.....	124
7.6.4 – Pigmentos e corantes .....	125
7.6.4.1 – Corantes .....	126
7.6.4.2 – Pigmentos orgânicos.....	126
7.6.4.3 – Especiais .....	127
7.6.4.4 – Pigmentos inorgânicos.....	127
<b>8. UMIDADE – SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSAMENTO .....</b>	<b>129</b>
8.1 – Polimerização da PA6.....	129
8.2 – Processamento .....	131
8.2.1 – Extrusão.....	131
8.2.2 – Injeção .....	131
8.3 – Secagem .....	133
8.4 – Umidade após o processamento .....	134
<b>9. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS PLÁSTICOS .....</b>	<b>137</b>
9.1 – Normas para as avaliações .....	138
9.1.1 – Avaliações físicas .....	138

9.1.2 – Avaliações reológicas.....	139
9.1.3 – Avaliações térmicas .....	140
9.1.4 – Avaliações elétricas .....	141
9.1.5 – Propriedades mecânicas.....	142
9.2 – Caracterização de poliamidas .....	143
9.2.1 – Umidade .....	144
9.2.1.1 – Método manométrico .....	144
9.2.1.2 – Criticidade.....	145
9.3 – Viscosidade em solução.....	147
9.3.1 – Determinação da viscosidade relativa – VR .....	147
9.3.1.1 – Criticidade.....	148
9.4 – Índice de fluidez e curva reológica .....	149
9.4.1 – Índice de fluidez .....	149
9.4.1.1 – Procedimento .....	150
9.4.1.2 – Criticidade.....	151
9.4.1.3 – Quais informações podemos obter de uma análise de fluidez? .....	151
9.4.2 – Curva reológica .....	152
9.4.2.1 – Procedimento .....	152
9.4.2.2 – Criticidade.....	153
9.5 – Resíduo de cinzas.....	153
9.5.1 – Cinzas.....	153
9.5.1.1 – Procedimento .....	153
9.5.1.2 – Criticidade.....	154
9.6 – Resistência ao impacto .....	154
9.6.1 – Procedimento .....	154
9.6.2 – Criticidade.....	155
9.7 – Resistência à tração .....	156

9.7.1 – Tensão e deformação no escoamento/ruptura .....	156
9.7.2 – Módulo elástico .....	157
9.7.3 – Prodedimento .....	158
9.7.4 – Criticidade.....	158
9.7.5 – Confronto entre métodos.....	159
9.8 – Métodos de avaliação do efeito antichama .....	161
9.8.1 – Normas utilizadas .....	161
9.8.2 – UL-94 .....	161
9.8.2.1 – Teste de queima vertical – V0, V1 e V2.....	162
9.8.2.1.1 – Aparato mínimo para o teste.....	162
9.8.2.1.2 – Preparação dos corpos de prova .....	162
9.8.2.2 – Acondicionamento dos corpos de prova .....	163
9.8.2.3 – Procedimentos.....	164
9.8.2.4 – Condições para classificação .....	166
9.8.3 – Teste de queima horizontal – HB .....	168
9.8.3.1 – Critérios do teste .....	168
9.8.3.2 – Aparato e medidas para o teste.....	168
9.8.3.3 – Corpos de prova .....	169
9.8.3.4 – Acondicionamento dos corpos de prova .....	169
9.8.3.6 – Cálculos.....	170
9.8.3.7 – Resultados .....	171
9.8.4 – Teste do fio incandescente .....	171
<b>10. PROCESSAMENTO POR INJEÇÃO .....</b>	<b>173</b>
10.1 – A máquina .....	173
10.1.1 – Sequência de ações na moldagem .....	173
10.1.2 – Secagem .....	174

10.2 – Métodos de secagem .....	175
10.2.1 – Recomendações para secagem.....	183
10.3 – Injetora .....	183
10.3.1 – A unidade de injeção .....	183
10.3.2 – A unidade de plastificação.....	184
10.4 – Temperatura .....	196
10.4.1 – Perfil de temperatura do cilindro .....	196
10.4.2 – Temperatura do bico.....	197
10.5 – Contração .....	198
10.6 – Tipos de resina.....	198
10.7 – Condições de moldagem .....	199
10.8 – Projeto do molde.....	199
10.9 – Posicionamento do ponto de injeção .....	204
10.10 – Desgaste do equipamento.....	204
<b>Referências .....</b>	<b>207</b>
<b>Apêndice .....</b>	<b>208</b>

## 5. PROPRIEDADES ESPECÍFICAS DAS PA6 E PA66

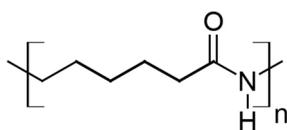
Apresentamos na tabela 5.1 as matérias-primas base para polimerização de poliamidas alifáticas.

Tabela 5.1 – Representação de estruturas de poliamidas

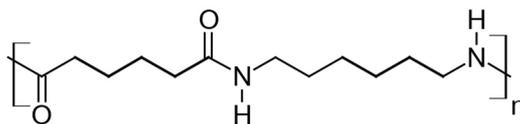
Sigla	Estrutura base	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Relação	Matéria-prima base	Temperatura trabalho °C	
	<i>x</i> : nº grupos (CH <sub>2</sub> )		CH <sub>2</sub> /CONH		Descontínuo	Contínuo
	<i>y</i> : nº grupos (CH <sub>2</sub> )					
	$-\text{[NH}-(\text{CH}_2)_x-\text{CO]}-_n$					
PA6	<i>x</i> = 5	1,12 – 1,15	5	ε-caprolactama	140 – 180	80 – 100
PA11	<i>x</i> = 10	1,03 – 1,05	10	Ácido aminoun-decanóico	140 – 150	70 – 80
PA12	<i>x</i> = 11	1,01 – 1,04	11	laurilactama	140 – 150	70 – 80
	$-\text{[NH}-(\text{CH}_2)_x-\text{NH-CO}-(\text{CH}_2)_y-\text{CO]}-_n$					
PA46	<i>x</i> = 4; <i>y</i> = 4	1,1	4	1,4-diamino-butano e ácido adípico	280	140
PA66	<i>x</i> = 6; <i>y</i> = 4	1,13 – 1,16	5	HDM ácido adípico	170 – 200	80 – 120
PA69	<i>x</i> = 6; <i>y</i> = 7	1,06 – 1,08	6,5	HDM ácido azelaico		
PA610	<i>x</i> = 6; <i>y</i> = 8	1,07 – 1,09	7	HDM ácido sebácico	140 – 180	80 – 110
PA612	<i>x</i> = 6; <i>y</i> = 10	1,06 – 1,07	8	HDM ácido dodecândico	130 – 150	80 – 100

Como podemos observar, a PA6, por exemplo, é obtida a partir da  $\epsilon$ -caprolactama, um composto orgânico que possui 6 átomos de C na sua composição. A PA66 é obtida a partir de uma diamina com 6 átomos de carbono em sua molécula, a hexametilenodiamina, e do ácido adípico, um ácido dicarboxílico, que também possui 6 átomos de C na sua estrutura.

Apesar das poliamidas 6 e 66 serem obtidas de matérias-primas diferentes, as suas moléculas (figura 5.1) são bastante parecidas diferenciando-se apenas pelo número de átomos de C e a quantidade de grupos amida presentes na molécula.



Poliamida 6 - poli ( $\epsilon$  - caprolactama)



Poliamida 6.6 - poli ( $\epsilon$  - hexametilenoadipamida)

Figura 5.1 – Representação esquemática das moléculas de PA6 e PA66

As poliamidas podem ser facilmente moldadas por meio de injeção, sopra ou através de sistema rotacional. Aditivos e reforços são inseridos nas poliamidas para conferir maior resistência mecânica, química, maior estabilidade à luz, antichamas, entre outros, atendendo as mais variadas necessidades na arquitetura desse importante polímero. Filmes, chapas, tarugos, anéis e tubos (plastificados ou não), são criados por extrusão onde, normalmente, utiliza-se polímeros de alta viscosidade. Poliamidas em forma de pó também são utilizadas em tintas, adesivos térmicos ou em soluções, como cola, películas impermeáveis, entre outras. Peças semiacabadas, folhas, barras e anéis podem ser processadas mecanicamente com extrema facilidade.

As poliamidas são caracterizadas por suas favoráveis propriedades mecânicas, resistência ao uso, baixo coeficiente de atrito, alta temperatura de fusão, boa resistência ao impacto e alta resistência à fadiga. Possuem excelente resistência a solventes orgânicos exceto a alguns, como

o ácido fórmico, ácido acético concentrado e m-cresol. Devido à variação de comportamento das poliamidas quando em contato com diferentes concentrações de compostos químicos orgânicos ou inorgânicos, aconselha-se consultar tabelas de resistência química, fornecidas pelo fabricante do polímero, antes de definir sua utilização.

### 5.1 – Relação entre estrutura e propriedades

As poliamidas alifáticas são polímeros lineares, e deste modo, termoplásticos. Elas contêm grupos amida polares (CONH) espaçados regularmente, e por isso cristalizam com alta atração intermolecular. Essas cadeias poliméricas também possuem segmentos de cadeia alifáticos que levam a uma certa flexibilidade na região amorfa. Desse modo, a combinação de alta atração intercadeias nas zonas cristalinas com a flexibilidade nas zonas amorfas faz com que esses polímeros sejam tenazes acima de suas temperaturas de transição vítrea.

A estrutura cristalina depende do arranjo das cadeias moleculares. Se o arranjo for altamente ordenado tridimensionalmente, o polímero é considerado de alto grau de cristalinidade. A alta atração intermolecular gera polímeros com alta temperatura de fusão. De qualquer modo, acima da temperatura de fusão, a viscosidade é baixa em razão da flexibilidade do polímero a tais temperaturas (figuras 5.2 e 5.3).

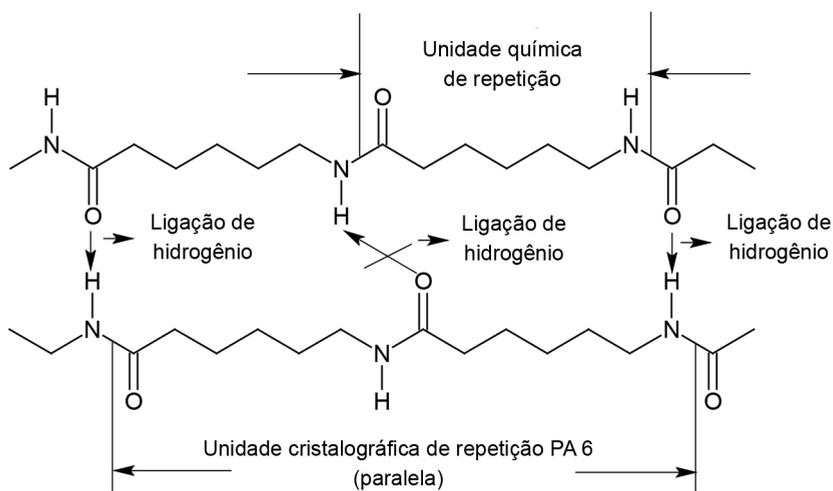


Figura 5.2 – Representação esquemática da estrutura molecular da PA6

## 6. OUTRAS POLIAMIDAS

---

### 6.1 – Poliamida 11 – PA11

Polímero do ácido 11 aminoundecanoico (figura 6.1).

Fig 6.1

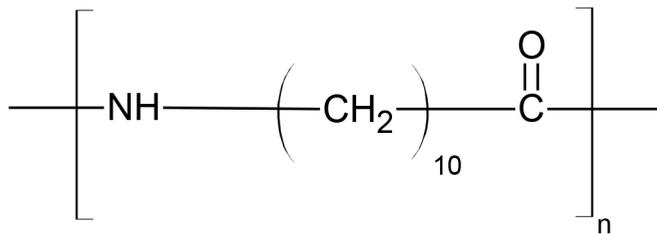


Figura 6.1 – Representação esquemática da molécula da PA11

#### 6.1.1 – Características gerais

Destilando-se a seco o ácido ricinoleico, obtido do óleo de rícino, obtém-se o ácido undecanoico, o qual é tratado com ácido bromídrico para obtenção do ácido ômega undecanoico que, por reação com amoníaco, produz o ácido aminoundecanoico. Este aminoácido é polimerizado em autoclave, à temperatura de 230 – 260 °C e pressão de 12–15 atm, com duração de 6 a 10 horas, em absoluta ausência de oxigênio. O polímero obtido é transformado em pó ou grânulos, dependendo da aplicação. Pode ser fornecido com aditivos para melhorar a performance.

Apresenta baixa absorção de umidade e boa estabilidade dimensional, baixo peso específico, baixo ponto de fusão (com uma faixa de fusão maior do que a das PA mais comuns). A flexibilidade e a resistência à fadiga também são particularidades desta PA, assim como a resistência química (exceto a ácidos concentrados). A resistência ao cloreto de zinco possibilita a sua utilização em peças que ficam em contato com metal zincado (tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Vantagens e limitações

Vantagens	Limitações
Baixa densidade.	Baixa resistência ao envelhecimento.
Alta resistência ao impacto a baixas temperaturas.	Em alguns casos, pode necessitar de tratamento de estabilização higroscópica.
Baixa absorção de umidade.	
Autolubrificação.	
Excelente resistência à abrasão.	
Boa resistência química.	
Fisiologicamente inerte.	

Pode ser transformada por todas as tecnologias convencionais, para fabricação de filmes, tubos e mangueiras, peças injetadas em geral, e revestimentos por sinterização e moldagem rotacional.

## 6.2 – Poliamida 610 – PA610

Polímero obtido pela condensação de hexametilenodiamina e ácido sebácico (figura 6.2).

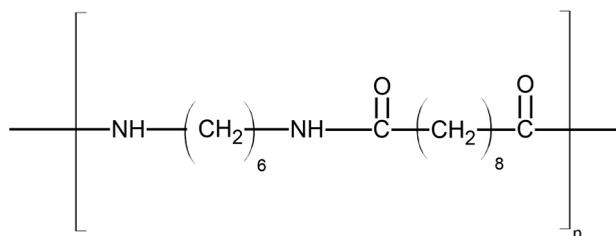


Figura 6.2 – Representação esquemática da molécula da PA610

### 6.2.1 – Características gerais

Parte-se do óleo de rícino para obter-se o ácido sebácico e do ácido adípico para obtenção da hexametilenodiamina. Do óleo de rícino prepara-se o ácido ricinoleico que, por tratamento com soda cáustica, resulta em ácido sebácico e álcool caprílico. A obtenção da hexametilenodiamina já foi explicada anteriormente. A reação entre a hexametilenodiamina e o ácido sebácico produz o sebacato de hexametilenodiamônico que, à temperatura de 280 °C, pressão de 12 a 15 atm, se transforma em PA610. O polímero é descarregado do reator no estado fundido e granulado, podendo sofrer processo posterior para aditivização ou modificação.

O produto apresenta similaridades com a PA66 em muitas das propriedades. Contudo, a absorção de umidade, assim como o ponto de fusão e a rigidez são menores. Possui excelentes propriedades elétricas, alto grau de flexibilidade e boa estabilidade dimensional. O tipo de alto peso molecular possui elevada resistência a ácidos, resistência ao impacto e tenacidade (tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Vantagens e desvantagens da PA610

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Excelentes propriedades mecânicas.	Necessita condicionamento.
Média absorção de umidade.	Baixa resistência ao calor contínuo.
Boas características dielétricas.	Elevada contração.
Flexibilidade.	
Resistência a óleos e graxas.	

A PA610 é preferida às PA6 e PA66 quando maior estabilidade dimensional é requerida. Pode ser processada por todas as técnicas convencionais de transformação.

### 6.3 – Poliamida 612 – PA612

Polímero obtido da condensação da hexametilenodiamina e do ácido dodecanodioico (figura 6.3).

## 7. ADITIVAÇÃO DE POLIAMIDAS

---

As poliamidas, em geral, pertencem a uma família de polímeros caracterizada por uma extrema facilidade de modificação, com consequente possibilidade de adaptação às mais variadas e exigentes aplicações.

O polímero base pode sofrer variações relativas à composição (homo e copoliamidas) e relativas ao nível de peso molecular. Na prática, a possibilidade de variações mais relevantes se deve aos vários tipos de aditivos utilizados, seja para modificar a processabilidade ou suas propriedades, como lubrificantes, nucleantes, estabilizantes, cargas, reforços, elastômeros, entre outros.

Se examinarmos as propriedades características das poliamidas próprias para moldagem (somente o polímero base) não há muitas considerações a fazer. Por outro lado, se considerarmos o *mix* de produtos para moldagem partindo de um simples lubrificante, passando por um nucleante e finalizando com carga e/ou reforço, as diferenciações podem ser diversas e de vários tipos.

### 7.1 – Peso molecular das poliamidas e a arquitetura de peças

Apresentamos algumas aplicações gerais para poliamidas padrão em função dos projetos a que se destinam:

*Poliamidas de baixo peso molecular:* essa classe de poliamidas possui viscosidade relativa entre 2,3 e 2,5 (a medida de viscosidade relativa é

adimensional por ser uma relação de tempo sobre tempo) e são utilizadas na fabricação de peças por injeção, de pequenas dimensões, espessuras muito finas ou percursos muito longos no molde. Exemplos: conectores elétricos, presilhas, botões.

*Poliamidas de peso molecular médio:* possuem viscosidade relativa entre 2,6 e 2,8 e são utilizadas na fabricação de peças com geometria simples de fácil extração do molde de injeção. Exemplos: calotas, maçanetas, carcaças de furadeira.

*Poliamidas de médio/alto peso molecular:* possuem viscosidade relativa entre 2,9 e 4,0 e são utilizadas na fabricação de peças de paredes grossas que necessitam de materiais suficientemente viscosos para ter a necessária consistência no molde e evitar escape do material pela linha de fechamento do molde.

Para a moldagem das poliamidas de baixa viscosidade utiliza-se, geralmente, poliamida terminada (cadeias fechadas). É importante o grau de terminações, uma vez que, com poliamidas não terminadas, pode haver um incremento da viscosidade durante a moldagem, incremento este que pode não ser constante quando se é forçado a breves paradas acidentais da máquina (tempo de residência no canhão). Obviamente, quanto mais baixa é a viscosidade requerida pelo tipo de peça a se moldar, mais perigoso é o fato de não haver terminações suficientes na poliamida, porque, neste caso, o incremento de viscosidade pode transformar o produto de viscosidade muito baixa em um de viscosidade standard, que pode ser mais alta do que a necessária para o completo preenchimento do molde que, dada a sua geometria, requer alta fluidez. Além disso, o aumento da viscosidade na fase de moldagem das poliamidas não terminadas é variável em função do teor de água da poliamida, com conseqüente efeito adicional na variável qualitativa.

## 7.2 – Poliamidas reforçadas

A base que se utiliza para obtenção de poliamidas reforçadas, contrariamente ao que foi dito anteriormente, é, preferivelmente, não terminada (cadeia aberta). De fato, está demonstrado que as características mecânicas e, sobretudo, a resistência ao impacto, são influenciadas pelas

terminações. A explicação desse comportamento é embasada no fato de que os grupos terminais, em geral, estão coenvolvidos no mecanismo de “grafitização” com os grupos reativos do aditivo que recobre a fibra de vidro (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 – Relação entre grupos terminais e resistência ao impacto em compostos de PA6 e PA6.6

	Terminais de base 6 e 6.6 (valores em meq/kg)	Impacto Izod com entalhe (J/m)	Viscosidade após extrusão ( $\eta_{rel}$ )
PA6 reforçada com 30% de fibras de vidro.	Não terminada ( $\text{NH}_2$ ) = 55	95	2,64
	Terminada com 0,18% de AA ( $\text{NH}_2$ ) = 28	80	2,61
	Terminada com 0,30% de HMD ( $\text{NH}_2$ ) = 80	92	2,59
PA6.6 reforçada com 30% de fibras de vidro.	Não terminada ( $\text{NH}_2$ ) = 55	71	2,60
	Terminada com 0,12% de AA ( $\text{NH}_2$ ) = 25	59	2,62
	Terminada com excesso de HMD ( $\text{NH}_2$ ) = 85	68	2,58

Pode-se notar que, tanto para a PA66 como para a PA6, há um decréscimo de cerca de 20% da resistência ao impacto com o uso de polímero terminado com ácido acético, enquanto com o aumento dos terminais amínicos não se obtém vantagens em termos de resiliência. A título de conhecimento, mostramos no gráfico da figura 7.1 a resiliência, módulo de elasticidade e resistência à flexão com a variação da % de fibra de vidro na poliamida 6. Como se pode notar, há um limite máximo acima do qual a resiliência, ao invés de aumentar, diminui: deste modo, além dos problemas tecnológicos inerentes à aditivação de altos percentuais de fibras de vidro, se soma o fato de que não se ganha muito, ao menos do ponto de vista da resistência ao impacto, que em percentuais de fibra superiores a 40% decai, seja pelo fato de haver um grande incremento na rigidez, que tende a ter um valor assintótico.

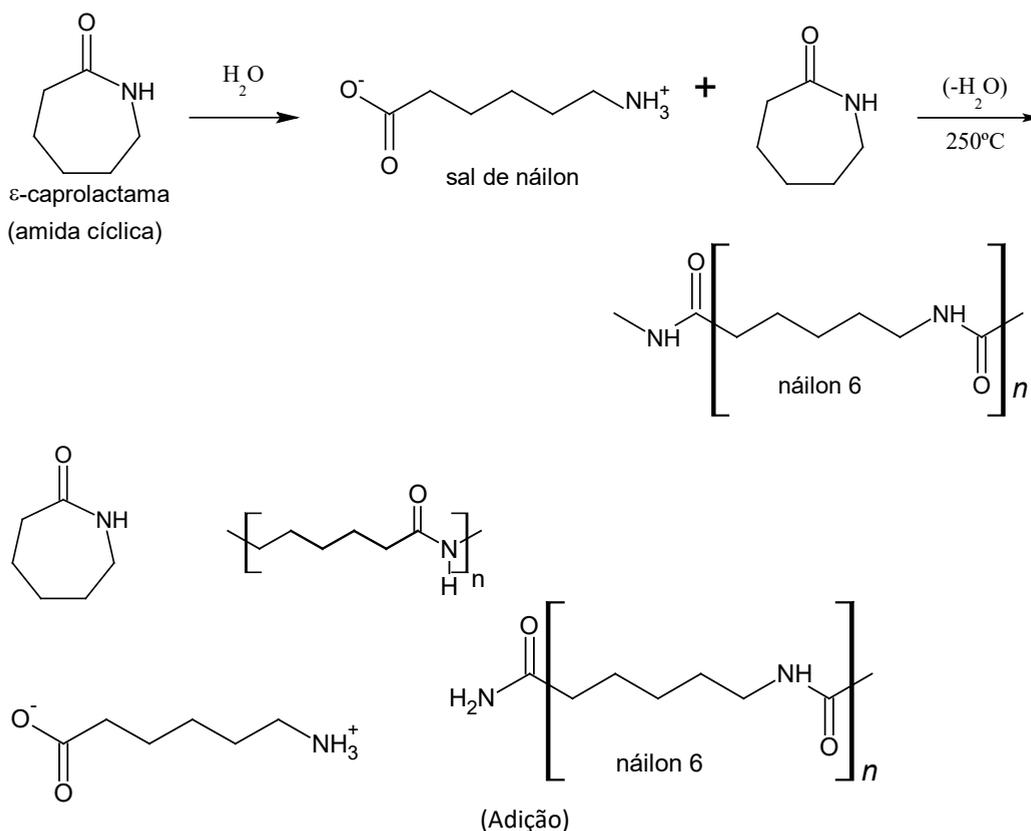
## 8. UMIDADE – SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSAMENTO

---

A presença da água é uma constante no histórico das poliamidas. Basta dizer que, no momento da formação de qualquer tipo de polímeros amídicos, lá está ela. No caso das PA6 e 6.6, que são as poliamidas mais utilizadas, muito se fala dos malefícios que umidade pode causar ao processamento. No entanto, a falta da umidade também pode trazer sérios problemas ao processo, visto que a água atua como lubrificante interno, diminuindo o cisalhamento intermolecular. Após a moldagem, a água atua como plastificante, diminuindo a Tg. Vejamos, então, a origem deste “caso”, entre as poliamidas e a água.

### 8.1 – Polimerização da PA6

A polimerização da caprolactama ocorre apenas em presença de água, a temperaturas acima de 200 °C. As reações ocorridas estão expressas a seguir:



A presença de ligações por hidrogênio torna as poliamidas polímeros higroscópicos, ou seja, absorvem umidade. Isso faz com que algumas propriedades sejam fortemente alteradas de acordo com o grau de absorção de umidade do polímero. Por exemplo, a Tg (temperatura de transição vítrea) da PA6.6 é de 50 °C na condição seca (umidade < 0,20%). Como a absorção de água cai para 25 °C, influenciando na cinética de cristalização pós-moldagem, que prossegue muito lentamente (encolhimento), estabilizando em período não inferior a 2 anos. Na PA6 esse efeito é menos marcante. A interação grau de cristalinidade e teor de umidade é um fator crítico. A absorção deteriora as propriedades típicas de um material cristalino, porém, melhora a tenacidade e a resistência ao impacto. Para atingir o ponto ideal para estas propriedades, a poliamida deve absorver entre 1,5 e 3% de umidade.

## 8.2 – Processamento

Dependendo do processo e do acabamento que se deseja para o produto final, o valor inicial da umidade contida no polímero pode ser crítico. Convencionalmente, as poliamidas são fornecidas em embalagens estanques, com baixíssima permeabilidade, para evitar (ou minimizar) a absorção da umidade pelo polímero antes do processamento. Para processos críticos, como extrusão de monofilamentos, perfis ou sopro, trabalha-se com valores de umidade entre 0,05 e 0,12%. Já para o processo de injeção, o valor máximo de umidade contida no granulado é de 0,20%. Contudo, em alguns casos, este valor pode ser considerado elevado para a obtenção de um acabamento livre de manchas, em moldes cujas saídas de gases não sejam eficientes. Para esses casos, recomenda-se trabalhar com valores de umidade semelhantes aos utilizados no processo de extrusão.

### 8.2.1 – Extrusão

O processo de extrusão necessita de condições de umidade bastante controlada, visto que por se tratar de um processo contínuo, qualquer variação no comportamento de fluxo do material pode acarretar sérios problemas no produto. A formação de “géis”, variação de diâmetro de fios, quebras constantes, são alguns dos inconvenientes que podem ser causadas pela presença excessiva de umidade durante o processo. Recomenda-se que as embalagens sejam mantidas fechadas até a hora do processamento. Os funis de alimentação devem receber as quantidades suficientes para o período de trabalho de, no máximo, duas horas, exceto nos casos em que os equipamentos sejam dotados de desumidificadores. Os funis devem ser mantidos fechados.

### 8.2.2 – Injeção

O processo de injeção também é suscetível à influência da umidade, mas, geralmente, a rigidez no controle pode ser um pouco menor do que no caso anterior. As poliamidas para injeção são fornecidas, normalmente,

### 10.7 – Condições de moldagem

- temperatura de moldagem;
- temperatura do fundido;
- pressão de injeção e recalque;
- tempo e pressão de recalque.

### 10.8 – Projeto do molde

- espessura da peça;
- tipo e localização do ponto de injeção.

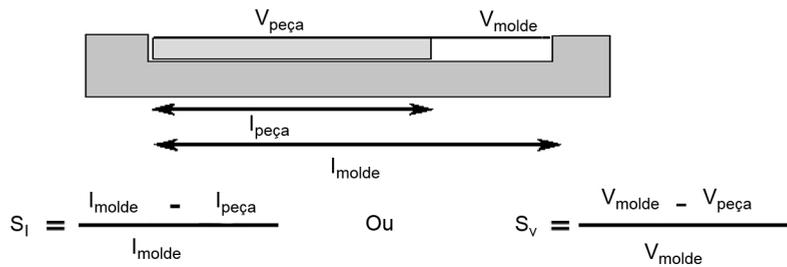


Figura 10.41 – Contração

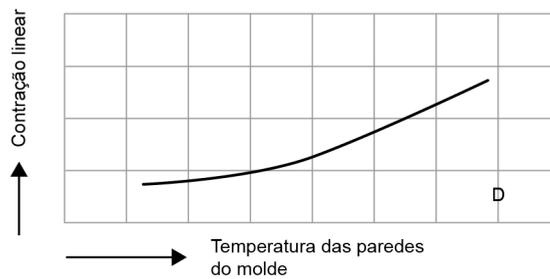


Figura 10.42 – Contração x temperatura do molde

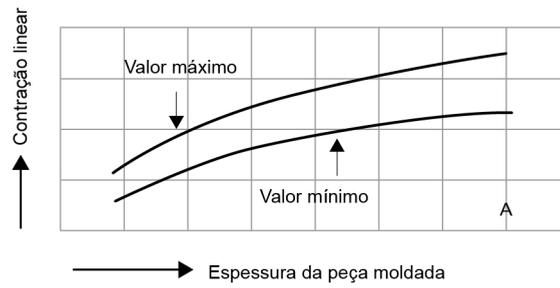


Figura 10.43 – Contração x parâmetros

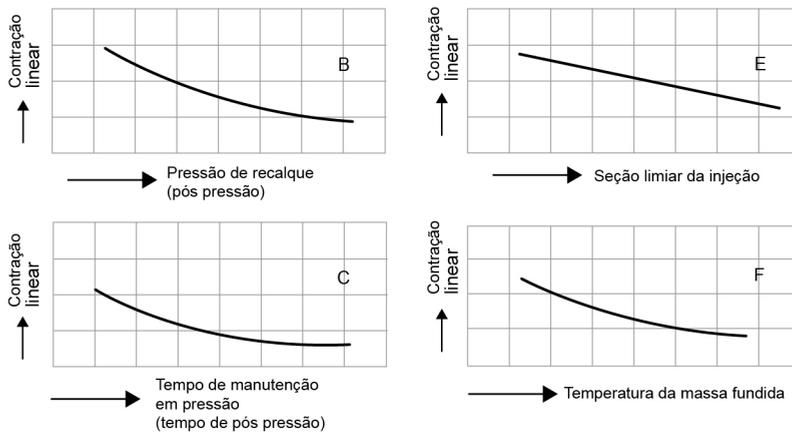


Figura 10.44 – Contração – impedimento geométrico

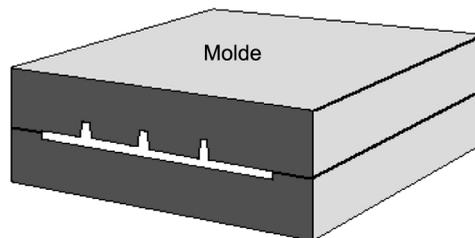


Figura 10.45 – Contração típica de alguns materiais termoplásticos

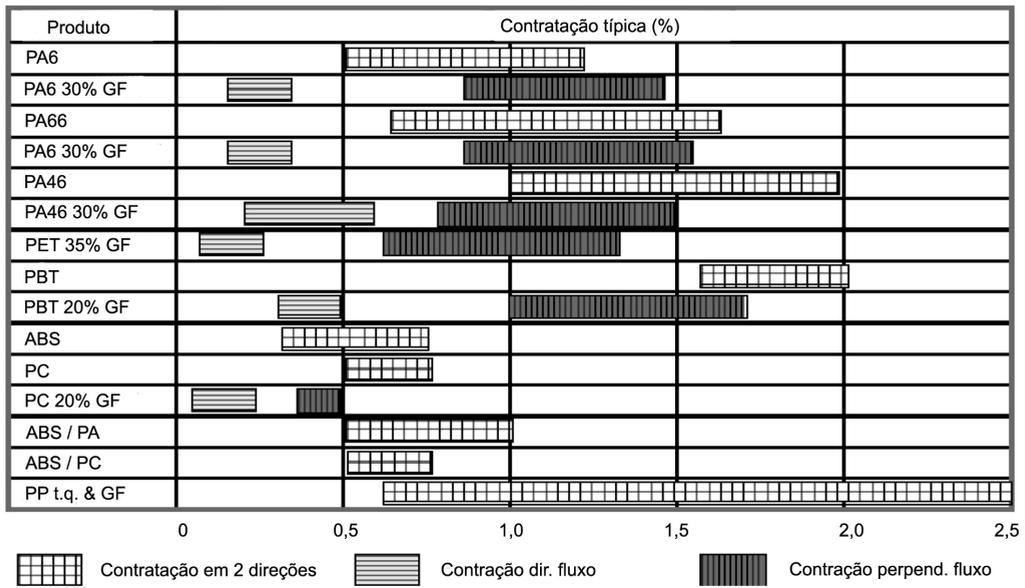


Figura 10.46 – Tabela de contração típica de alguns materiais termoplásticos

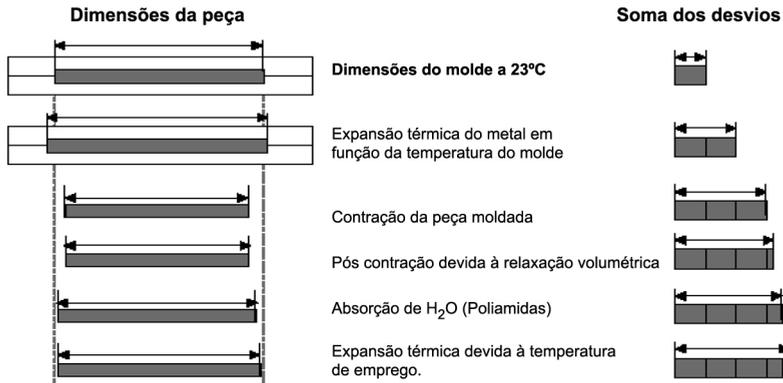


Figura 10.47 – Contração e anisotropia

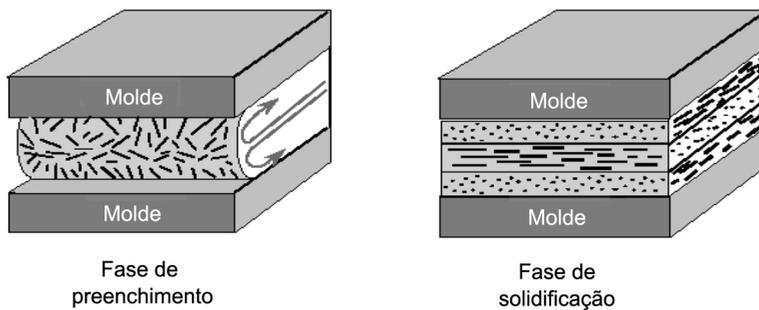


Figura 10.48 – Contração – materiais reforçados com fibras